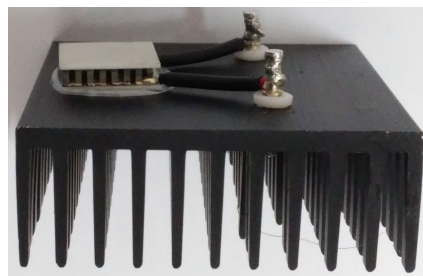
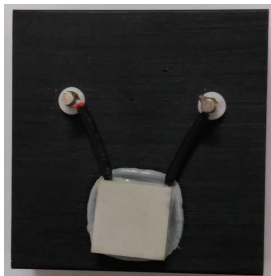


# Proyecto de Innovación Educativa del Laboratorio de Termodinámica (PIE2015LT)

El objetivo principal de este PIE es el fomento del aprendizaje autónomo y colaborativo de los estudiantes mediante la puesta a su disposición de experiencias reales y virtuales interactivas con las que puedan desarrollar, tanto antes como después de su trabajo presencial en el Laboratorio de Termodinámica, su capacidad de elaborar argumentos basados en sus observaciones e interpretar correctamente los fenómenos físicos estudiados.

## Anexo I: Demostración del efecto Peltier (Experiencia real)

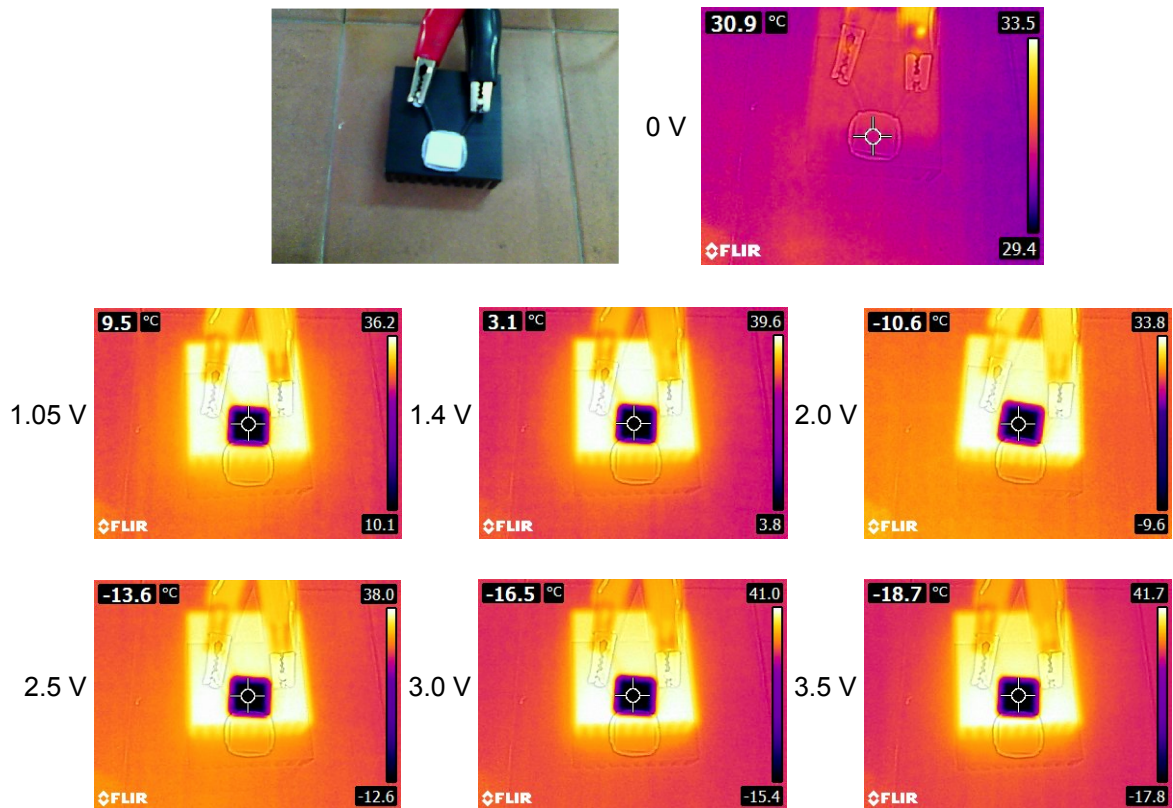
J. C. A. Peltier (1795 - 1845) fue un relojero francés que abandonó su profesión para dedicarse al estudio del calentamiento producido por la electricidad. Su objetivo era demostrar que la ley de Ohm solo es válida para altas intensidades de corriente. En 1834 descubrió casualmente el efecto termoeléctrico que lleva su nombre. Nadie pudo reproducir sus resultados y Peltier acabó sin creerse sus propias medidas. Se pensó que este efecto no existía. Hoy día es la base de la refrigeración termoeléctrica.



Esta experiencia real usa un módulo termoeléctrico unido mediante pasta térmica a un bloque de aluminio anodizado con disipadores para facilitar su interacción térmica con el ambiente y evitar que su temperatura varía mucho. La placa superior del módulo (es decir, la que no está unida térmicamente al bloque), por el contrario, experimentará grandes diferencias de temperatura cuando circule corriente por el módulo. El módulo tiene dos conectores eléctricos: uno rojo para su conexión al polo positivo de una fuente de alimentación DC (en modo de refrigeración termoeléctrica) y otro negro para su conexión al polo negativo de la fuente.

Con ayuda de una cámara termográfica FLIR E6 se observa las temperaturas que alcanza la placa superior del módulo al cabo de aprox. 30 s cuando circulan diferentes corrientes por el módulo.

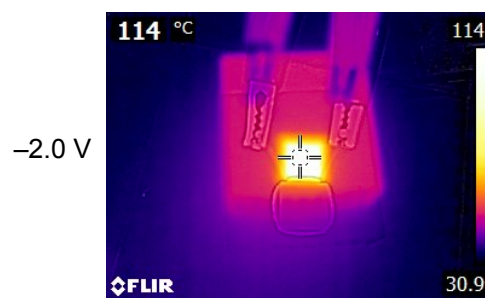
### Primera Parte : Modo de refrigeración termoeléctrica



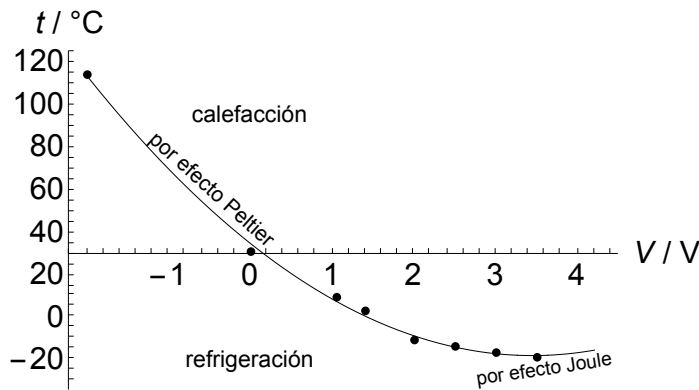
## Segunda Parte : Modo de calefacción termoeléctrica

Se ha realizado un cambio de polaridad eléctrica.

¡Hay más de 120 °C de diferencia de temperatura si los 2.0 V se aplican con una polaridad o la otra!

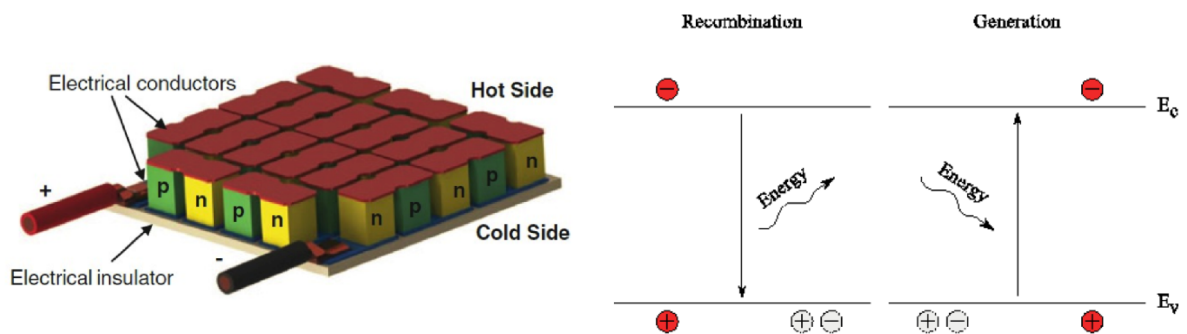


A continuación se representan las temperaturas observadas en función de la diferencia de potencial aplicada al módulo. Explica por qué no es lineal la variación y cuál es el papel del efecto Joule en las observaciones anteriores.



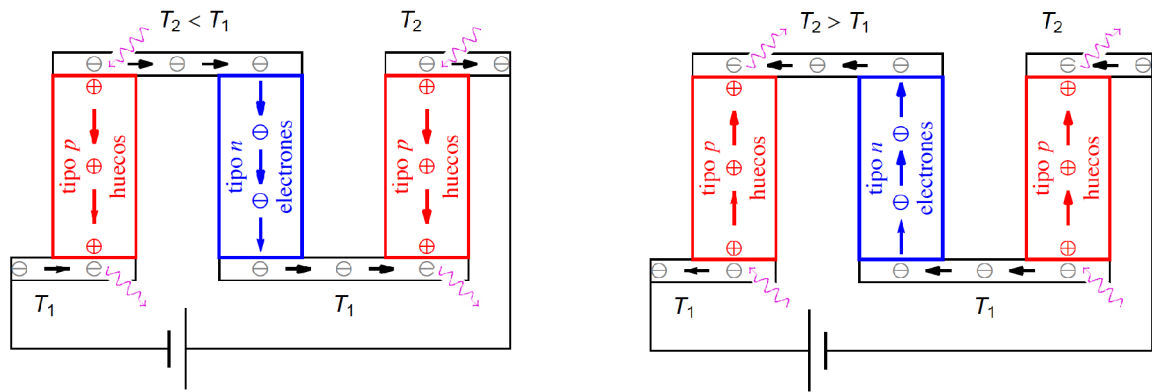
### Tercera Parte : Comprensión del efecto Peltier

El material elaborado en este Proyecto de Innovación Pedagógica explota la comparación entre la observación de fenómenos a escala macroscópica y su modelización a escala microscópica. En el interior del módulo termoeléctrico hay bloques de semiconductores tipo p y tipo n unidos en serie eléctricamente y en paralelo térmicamente, tal y como se muestra en la siguiente figura.



En el modo de refrigeración termoeléctrica, la placa superior del módulo se enfría porque en las uniones p-n que están en contacto con ella se produce la generación de pares electrón-hueco. Tomando energía de dicha placa, un electrón de la banda inferior (o de valencia) del material tipo p se excita a la banda superior y migra, por efecto del campo eléctrico aplicado, al material tipo n. En el material tipo p queda un defecto de electrón o hueco que es el portador de carga efectiva en el mismo.

En el modo de calefacción termoeléctrica, la placa superior del módulo se calienta porque en las uniones p-n que están en contacto con ella se produce la recombinación de pares electrón-hueco. Un electrón que transporta la corriente por el semiconductor tipo n y un hueco que transporta la corriente por el semiconductor tipo p se desplazan en sentidos contrarios porque también son de signos contrarios sus cargas efectivas. Al llegar a la unión p-n mencionada, se recombinan liberando energía que es cedida a la placa superior y provoca el aumento de su temperatura.



Este Proyecto de Innovación Docente ha sido financiado por el Vicerectorat de Polítiques de Formació i Qualitat Educativa de la Universitat de València (UV - SFPIE\_RMD15 - 314130).



Autores: M.A. Gilabert, J.A. Manzaneres, S. Mafé, J. Garrido, J. Cervera, P. Ramírez, M.I. Aguilera. Se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.



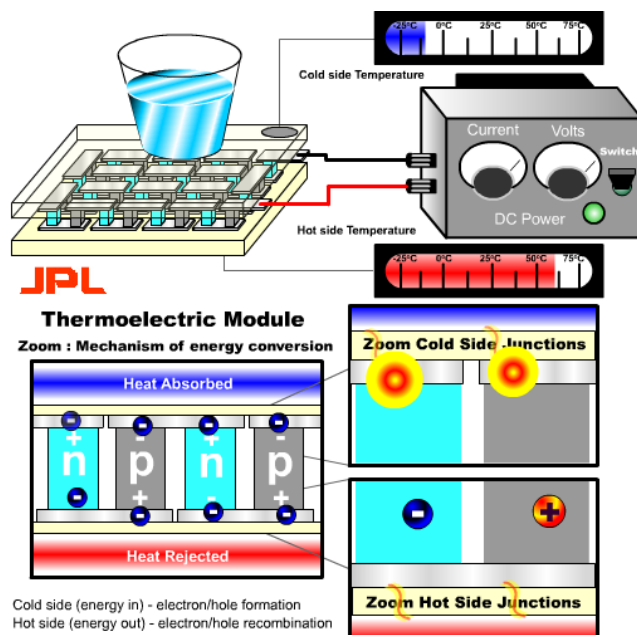
# Proyecto de Innovación Educativa del Laboratorio de Termodinámica (PIE2015LT)

El objetivo principal de este PIE es el fomento del aprendizaje autónomo y colaborativo de los estudiantes mediante la puesta a su disposición de experiencias reales y virtuales interactivas con las que puedan desarrollar, tanto antes como después de su trabajo presencial en el Laboratorio de Termodinámica, su capacidad de elaborar argumentos basados en sus observaciones e interpretar correctamente los fenómenos físicos estudiados.

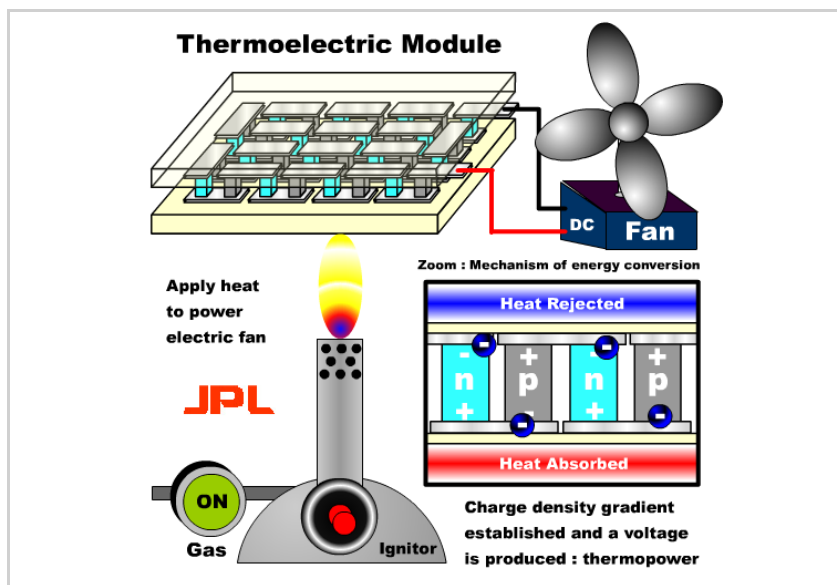
## Anexo II: Animaciones de efectos termoeléctricos

En la web del Laboratorio de Termodinámica, dentro del apartado del Proyecto de Innovación Pedagógica, y en <http://www.thermoelectrics.caltech.edu/demos/index.html> podéis encontrar dos animaciones que ayudan a comprender los efectos Seebeck y Peltier siguiendo la metodología docente propia de este proyecto, es decir, comparando la observación macroscópica con lo que ocurre a nivel microscópico.

### Primera animación : refrigeración termoeléctrica (efecto Peltier)



## Segunda animación : generación termoeléctrica (efecto Seebeck)



Este Proyecto de Innovación Docente ha sido financiado por el Vicerectorat de Polítiques de Formació i Qualitat Educativa de la Universitat de València (UV - SFPIE\_RMD15 - 314130).



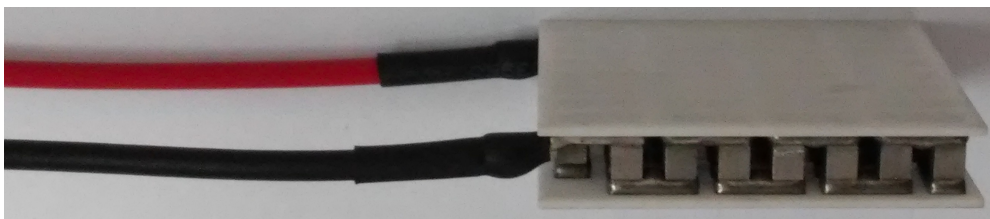
Autores: M.A. Gilabert, J.A. Manzanares, S. Mafé, J. Garrido, J. Cervera, P. Ramírez, M.I. Aguilera. Se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.

# Proyecto de Innovación Educativa del Laboratorio de Termodinámica (PIE2015LT)

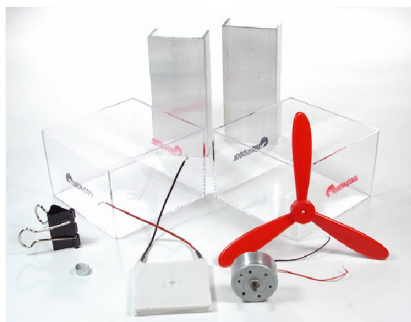
El objetivo principal de este PIE es el fomento del aprendizaje autónomo y colaborativo de los estudiantes mediante la puesta a su disposición de experiencias reales y virtuales interactivas con las que puedan desarrollar, tanto antes como después de su trabajo presencial en el Laboratorio de Termodinámica, su capacidad de elaborar argumentos basados en sus observaciones e interpretar correctamente los fenómenos físicos estudiados.

## Anexo III: Demostración del efecto Seebeck (Experiencia real)

T. J. Seebeck (1770- 1831) fue un médico que creyó haber descubierto el termomagnetismo. El objetivo de sus investigaciones era relacionar el magnetismo terrestre con la diferencia de temperatura entre el ecuador terrestre (o varios volcanes del sur) y los casquetes polares. Sus observaciones demostraban un efecto termoeléctrico, pero Seebeck se opuso a esa interpretación. Su trabajo intentando rechazar la interpretación termoeléctrica fue tan extenso y correcto que su clasificación de los materiales en base al coeficiente Seebeck sigue siendo de interés.



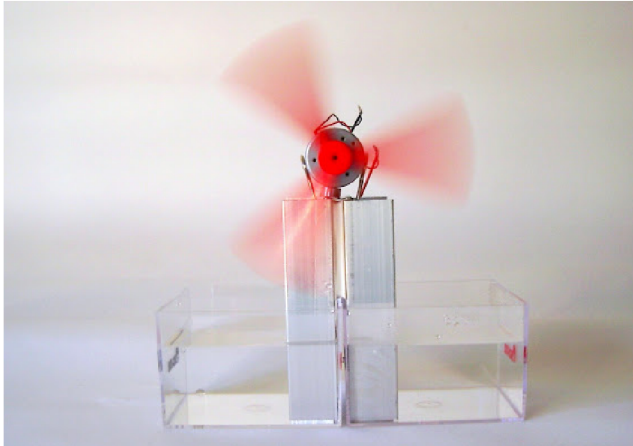
Esta experiencia real para demostrar el efecto Seebeck usa un módulo termoeléctrico de semiconductores, dos bloques de aluminio como conductores térmicos, un motor eléctrico, unas aspas de ventilador y dos depósitos que contendrán agua. El conjunto se monta como aparece en las figuras inferiores.



Primera Parte : Generación de potencia eléctrica por efecto

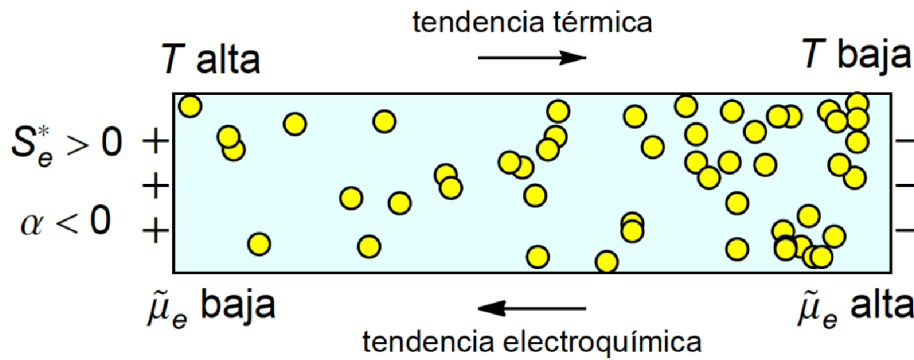
## Seebeck

Cuando en los depósitos se introduce agua a distintas temperaturas, aparece una diferencia de potencial eléctrico entre los terminales eléctricos del módulo que puede alimentar al ventilador eléctrico. El movimiento del mismo se mantiene mientras la diferencia de temperatura del agua en los dos depósitos siga siendo notable.

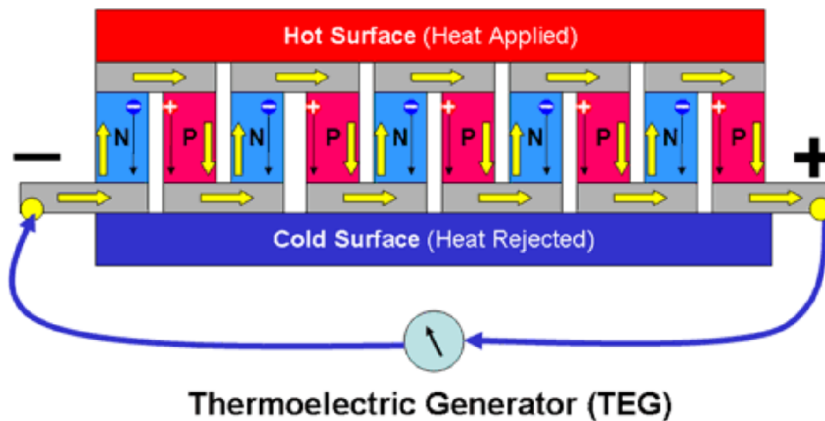


## Segunda Parte : Comprensión del efecto Seebeck

El material elaborado en este Proyecto de Innovación Pedagógica explota la comparación entre la observación de fenómenos a escala macroscópica y su modelización a escala microscópica. Para comprender el efecto Seebeck debemos pensar primero en una distribución de equilibrio de los electrones en un conductor en el que existe un gradiente de temperaturas. Los electrones tienden a moverse de donde su potencial electroquímico es mayor a donde es menor. En sistemas isotermos esta tendencia electroquímica es suficiente para comprender tanto la distribución de equilibrio de los electrones como su flujo cuando, por ejemplo, hay gradientes de potencial eléctrico aplicados. En sistemas no isotermos, sin embargo, hay una segunda tendencia que entra en juego y que tiene que ver con el hecho de que los electrones no sólo transportan carga eléctrica y energía sino que también transportan entropía. Si el coeficiente Seebeck es negativo, como en los semiconductores tipo n (cuyos portadores de carga son electrones) y muchos metales, la cantidad de entropía transportada por los electrones es positiva y esto hace que tiendan a acumularse en los puntos de menor temperatura (tendencia térmica). En el equilibrio, las tendencias térmica y electroquímica se compensan y los electrones no se mueven (en término neto). Esto implica que, si el coeficiente Seebeck es negativo, los puntos de menor temperatura son los de mayor potencial electroquímico y allí hay una acumulación de electrones que hace que los puntos fríos sean negativos eléctricamente. Una diferencia de temperaturas genera así una diferencia de potencial eléctrico dentro del material.



En el interior del módulo termoeléctrico hay bloques de semiconductores tipo p y tipo n unidos en serie eléctricamente y en paralelo térmicamente, tal y como se muestra en la siguiente figura. Si se aporta energía por conducción térmica a una placa del módulo y se extrae energía de la otra por este mismo mecanismo, los materiales semiconductores tipo p y tipo n que componen el módulo estarán sometidos a gradientes de temperatura, lo que genera distribución no uniforme de la concentración de sus portadores, tal y como hemos explicado arriba. Bajo condiciones de circuito abierto, esto da lugar a una diferencia de potencial eléctrico entre los terminales eléctricos del módulo que es proporcional a la diferencia de temperatura entre las placas, lo que se conoce como efecto Seebeck. Si se cierra el circuito, conectando el ventilador a los terminales del módulo, aparece un flujo de carga eléctrica por el interior del módulo. Como la conducción eléctrica es por electrones en los semiconductores tipo n y por huecos en los semiconductores tipo p, resulta que en unas uniones se necesita un aporte de energía para generar pares electrón-hueco mientras que en otras se libera energía por recombinación de los mismos. El sentido del paso de la corriente es precisamente tal que el aporte de energía ocurre en la placa que está en contacto con el depósito de agua caliente, mientras que el módulo libera energía al depósito de agua fría por la placa opuesta.



Este Proyecto de Innovación Docente ha sido financiado por el Vicerectorat de Polítiques de Formació i Qualitat Educativa de la Universitat de València (UV - SFPIE\_RMD15 - 314130).



Autores: M.A. Gilabert, J.A. Manzaneres, S. Mafé, J. Garrido, J. Cervera, P. Ramírez, M.I. Aguilera. Se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.